

**Influência do diâmetro de gota do processo MIG/MAG pulsado com alta penetração****Influence of the droplet diameter during high penetration pulsed-GMAW**

Ramon Fernandes Fagundes<sup>1</sup>, Junior Bonetti Zanini<sup>2</sup>, Pedro Correa Jaeger Rocha<sup>2</sup>, Régis Henrique Gonçalves e Silva<sup>2</sup>, Rubens Maribondo do Nascimento<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil. jr\_bonetti@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

**Resumo**

*A incessante busca por novas tecnologias relacionadas a soldagem que visa o máximo de produtividade sem que prejudiquem as propriedades mecânicas e metalúrgicas dos constituintes, comina em um número crescente de pesquisas aplicadas ao desenvolvimento e/ou aperfeiçoamento de processos de soldagem. Diante do cenário atual, na qual a aplicação da soldagem na indústria está cada vez mais específica e detalhista, os processos de soldagem tidos como “convencionais” estão sendo levados cada vez mais ao limite tecnológico, muitas vezes tornando as suas aplicações questionáveis. Em contrapartida, estudos vem sendo desenvolvidos relacionados a soldagem MIG/MAG com alta penetração, caracterizado por permitir a formação de um arco comumente denominado de Burried arc ou “arco enterrado” em tradução livre. Tal fenômeno possibilita uma maior incidência do arco na poça de fusão, gerando uma maior pressão na mesma resultando em uma penetração maior. Desta forma, esse trabalho teve como objetivo avaliar a influência do diâmetro de gota sobre o processo de soldagem do MIG/MAG pulsado de alta penetração, observando os fenômenos intrínsecos aos mesmos tais como transferência metálica, comportamento da poça de fusão, bem como a geometria do cordão de solda. Além disso, foi avaliado a influência do diâmetro de gota no desempenho do processo e na penetração da solda. Para tal, os testes foram realizados em depósito sobre chapa na posição plana. Foram realizadas filmagens de alta velocidade, além da verificação de oscilogramas tensão x corrente e seções transversais dos cordões de solda para averiguar o comportamento do processo de soldagem estudado. Os resultados mostraram que os diâmetros de gota testados nesse trabalho não influenciaram de forma significativa sobre a penetração. A medida que se aumentou o diâmetro de gota foi possível verificar interferências relacionadas aos valores de tensão e corrente, assim como os maiores diâmetros de gota maiores proporcionam uma interferência mais acentuada na região da poça de fusão, bem como na sua periferia. Contudo, essa interferência não causou discontinuidades nos cordões de solda, uma vez que não foi observada a presença de mordedura, porosidade ou quaisquer outros defeitos nas soldas.*

**Palavras-chave:** MIG/MAG; Burried arc; Alta penetração; Diâmetro de gota

**Abstract:** *The increasing search for new technologies related to welding, aim maximum productivity without spoiling the mechanical and metallurgical properties of the constituents, which caused a growing number of researches applied to the development and improvement of welding processes. Giving the application of welding in the industry is increasingly specific and detailed to each demand, welding processes considered as "conventional" are being pushed to the limits, often making their applications questionable. On the other hand, studies have been developed related to GMAW high penetration, characterized by allowing the formation of an electric arc commonly called Burried arc. This phenomenon allows a greater incidence of the arc in the melting pool, generating a greater pressure in the same one resulting in a deeper penetration. In this way, this work aims to evaluate the influence of the droplet diameter on the penetration using the pulsed-GMAW, observing the intrinsic phenomena such as metal transfer, melt pool behavior, as well as geometry of the weld bead. In addition, the influence of droplet diameter on process performance and welding penetration was evaluated. For this, the tests were carried out in deposit on plate in flat position. High - speed recording was performed, as well as the verification of voltage x current oscillograms and cross sections of the weld beads to determine the behavior of the studied welding process. The results showed that the droplet diameters used in this study did not significantly influence the penetration. As the droplet diameter increased, it was possible to detect interferences related to the voltage and current behaviors, as well as the larger droplet diameters generated higher interference in the region of the melting pool and its surroundings. However, this interference did not cause*

*discontinuities in the weld beads, since the presence of undercut, porosity or any other defects in the welds was not observed.*

**Key-words:** *pulsed-GMAW; Buried arc; Deep penetration; Droplet diameter*

## **1. Introdução**

Dentre os processos de soldagem, o MIG/MAG (*Metal Inert/Active gas*) é um dos mais aplicados na indústria, desde uma simples união de topo até revestimento dissimilar em tubulações. Diante disso, é inevitável o desenvolvimento de novas tecnologias capazes de suprir a demanda cada vez mais específica para soldagem.

Um exemplo disso é a união de chapas espessas, aplicada por exemplo na fabricação de vasos de pressão, componentes para área naval e petrolífera. Uma vez que para soldagem de grandes espessuras é necessária uma quantidade de energia relativamente alta, muitas vezes é adicionado ao projeto da junta chanfros, espaçamentos entre as peças, *backing* ou até mesmo um elevado número de passes de solda, além de baixas velocidades de soldagem, aumentando assim o custo final do projeto.

Em contrapartida, estudos vem sendo realizados no desenvolvimento de processos de soldagem capazes de aumentar a eficiência dos mesmos. A exemplo disso, diversos fabricantes desenvolveram variantes do processo MIG/MAG com nomes característicos como, por exemplo, PCS, RapidArc, ForceArc, SpeedArc, etc. Algumas destas variantes encontradas comercialmente permitem manter o arco com comprimento reduzido ou ditas como arco “enterrado” na poça de fusão, em inglês *buried arc*. Esse comprimento do arco reduzido promove uma série de vantagens, como a redução dos respingos a partir do controle da forma de onda nos eventos de curto-circuito, a possibilidade de operar em velocidades de soldagem maiores devido à alta taxa de fusão aliada a capacidade de penetração, além de um valor reduzido no capital de investimento em sistemas de soldagem modificados por ser possível utilizar fontes e equipamentos de soldagem convencional [1].

Quanto as características fundamentais dessa variante, Rokhlin [2] afirma em seu trabalho que a depressão da poça de fusão formada pela ação do arco enterrado é um fator primordial na penetração, uma vez que estão estreitamente relacionados. Além disso, essa depressão está diretamente ligada a corrente, ou seja, a medida que se aumenta a corrente é observado uma elevação na depressão [3].

Foi constatado ainda resultados satisfatórios a partir do comando de tensão em conjunto com o controle eletrônico da indutância da fonte, sendo necessária a adoção de um procedimento inicial, que consta em manter a velocidade de alimentação de arame reduzida por determinado tempo, para então elevá-la ao valor desejado [4].

No que diz respeito os fatores que influenciam a penetração, sabe-se que a corrente é o principal parâmetro que proporciona um aumento significativo dessa. Ainda assim, existem outros fatores que podem contribuir na obtenção de resultados consideráveis satisfatórios, tais como velocidade de soldagem, velocidade de alimentação de arame e angulação da tocha.

Acredita-se ainda que a gota metálica exerce certa influência na penetração, uma vez que o seu volume ou a força com que é projetada à poça de fusão pode contribuir de forma positiva. Santos [5] utilizou em seu trabalho um diâmetro da gota superior ao do arame-eletrodo, obtendo ótimos resultados no que diz respeito a qualidade da solda. No entanto, a aplicação de gotas com volumes relativamente elevados, pode resultar em uma turbulência na poça de fusão propiciando a formação indesejada de respingos. Desta forma, existe uma forte linha de pensamento por parte da literatura de que a relação entre os diâmetros da gota e do arame-eletrodo devem ser iguais, minimizando ao máximo a turbulência da poça de fusão.

De posse desses fatos, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do diâmetro de gota na penetração, bem como na estabilidade do processo, sendo observado os comportamentos da corrente e tensão, poça de fusão e geometria do cordão de solda.

## **2. Materiais e métodos**

### **2.1. Materiais**

Com a prerrogativa de se observar os fenômenos intrínsecos ao processo, bem como a sua eficácia quanto a penetração, foi necessário a montagem de uma bancada capaz de realizar os ensaios. A fonte escolhida para realização das soldas foi a IMC Digiplus A7 com faixa de operação de 5 a 800 A com controle eletrônico. Para movimentação da tocha foi adicionado a bancada um sistema de deslocamento mecanizado (Tartilope), permitindo a movimentação da daquela de forma constante, garantindo a repetibilidade dos ensaios. Quanto a aquisição dos sinais de corrente e tensão, foi utilizado um sistema de aquisição de dados portátil (SAP). Por último, foi utilizada uma câmera de alta velocidade com filtro de

UV e regulagem da lente em 85 mm com tempo de exposição de 1/15 e abertura do diafragma 32. A Figura 1 mostra como a bancada de soldagem ficou disposta.

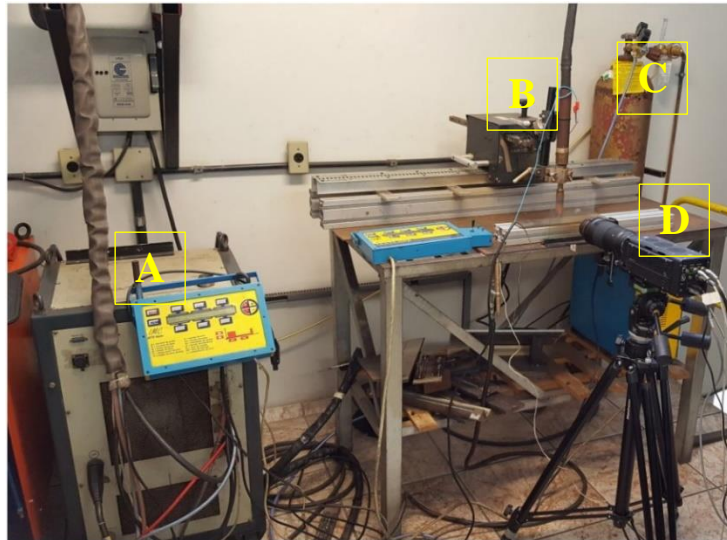


Figura 1. Bancada de ensaios: A- Fonte de soldagem; B- Tartflope; C- Gás de proteção; D- Câmera de alta velocidade

Os ensaios se concentraram na soldagem de simples deposição sobre corpos de prova fabricados a partir de chapas de aço carbono SAE 1020 (Figura 2). Quanto ao arame-eletrodo, foi utilizado o AWS ER70S-6 com diâmetro de 1,2 mm. Por fim, foi utilizado como gás de proteção uma mistura composta por 92% de Ar e 8% de CO<sub>2</sub>.

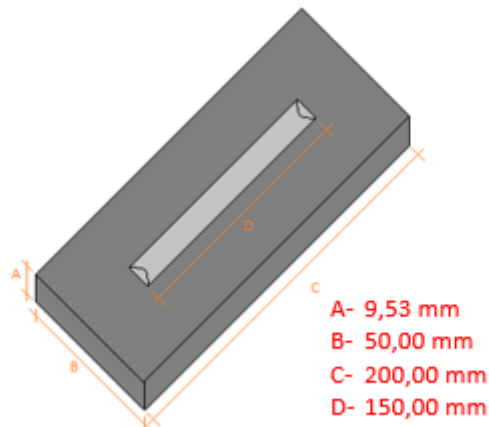


Figura 2. Corpos de prova e respectivas dimensões

## 2.2. Metodologia

Para efeito de comparação, foram determinados os parâmetros operacionais, ou seja, aqueles que se mantiveram inalterados para todos os testes, sendo eles a velocidade de soldagem estipulada em 45 c/min, a vazão do gás de processo de 15 l/min e a distância bico contato peça (DBCP) fixada em 15 mm.

Em contrapartida, uma vez que é objeto de estudo verificar o comportamento de diferentes diâmetros de gota na soldagem MIG/MAG de alta penetração, fez-se necessário a utilização do modo de corrente pulsada, permitindo assim alterar valores de tempo de base ( $t_b$ ) e de pulso ( $t_p$ ) para garantir diferentes frequências de destacamento e, conseqüentemente, diferentes diâmetros de gota. Tomou-se ainda o cuidado de se manter a corrente média de 287 A para todos os níveis testados para efeito de comparação dos resultados. A Tabela 1 apresenta todos os níveis de parâmetros utilizados nesse trabalho.

Tabela 1. Parâmetros de soldagem

Nível	Ip	tp	Ib	tb
1	580	1,1	70	1,6
2		1,3		1,8
3		1,7		2,3
4		2,3		3,0
5		2,8		3,8

Para avaliar o comportamento do diâmetro de gota sobre o arco e a poça de fusão, foi escolhida a filmagem de alta velocidade. Já para efeito quantitativo, seções transversais foram retiradas das chapas testes com a finalidade de estimar a penetração.

### 3. Resultados e discussão

A princípio, foi verificado que a metodologia escolhida para variação do diâmetro da gota metálica modificando os tempos de pulso e de base favoreceu a formação de gotas com diâmetros diferentes. Vale ressaltar que para o nível 5 a transferência metálica não favoreceu o destacamento de uma gota, mas sim a formação de um filete durante toda a soldagem. A tabela 2 apresenta os valores dos diâmetros de gota mensurados para cada nível.

Tabela 2. Diâmetros de gota para cada nível

Nível	Diâmetro de gota (mm)
1	1,02
2	1,11
3	1,25
4	1,35
5	-

Contudo, não foi possível verificar uma diferença nítida no formato da depressão característica do processo MIG/MAG com o efeito do *buried arc*. A Figura 3 mostra esse comportamento para ambos os níveis testados.

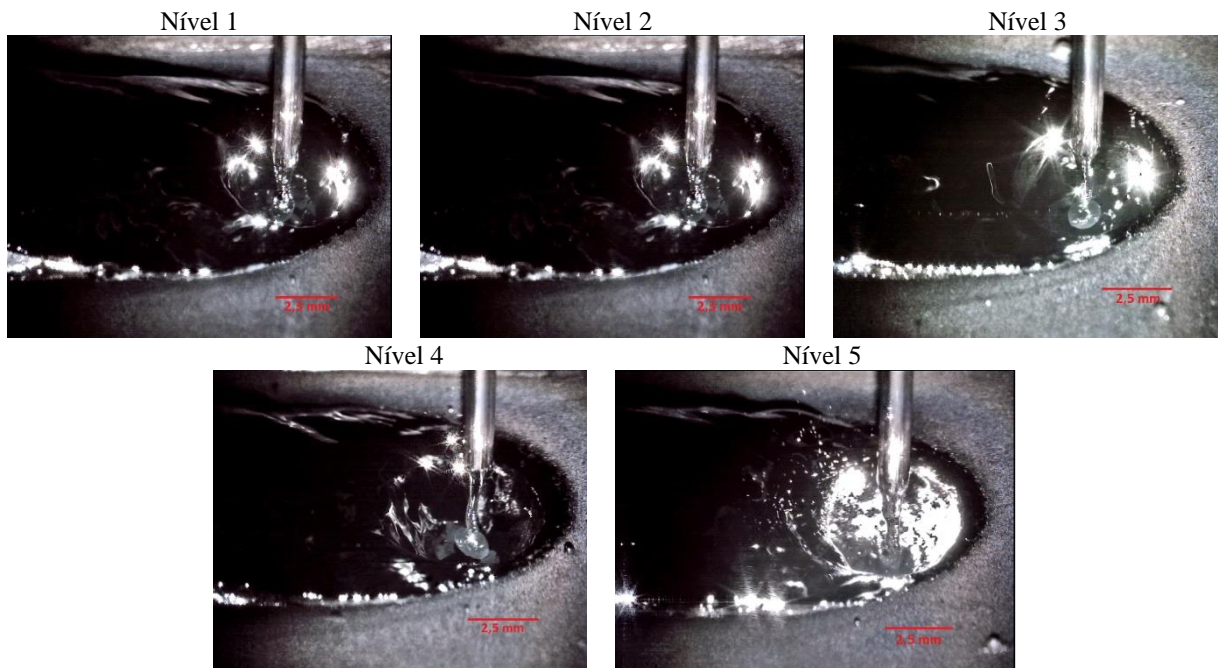


Figura 3. Comportamento do diâmetro de gota para cada nível de parâmetros avaliados

Já quanto o efeito do diâmetro da gota sobre a estabilidade do processo, foi verificado que maiores diâmetros resultaram na perturbação dos sinais elétricos de corrente e tensão, efeito esse não encontrado



para soldas com diâmetros de gotas menores. Acredita-se que esse efeito está relacionado com o volume do material que é projetado a poça de fusão, gerando uma turbulência na mesma proporcionando a variação abrupta da tensão e da corrente durante a soldagem. A figura 4 mostra o comportamento da tensão e da corrente para diferentes níveis avaliados.

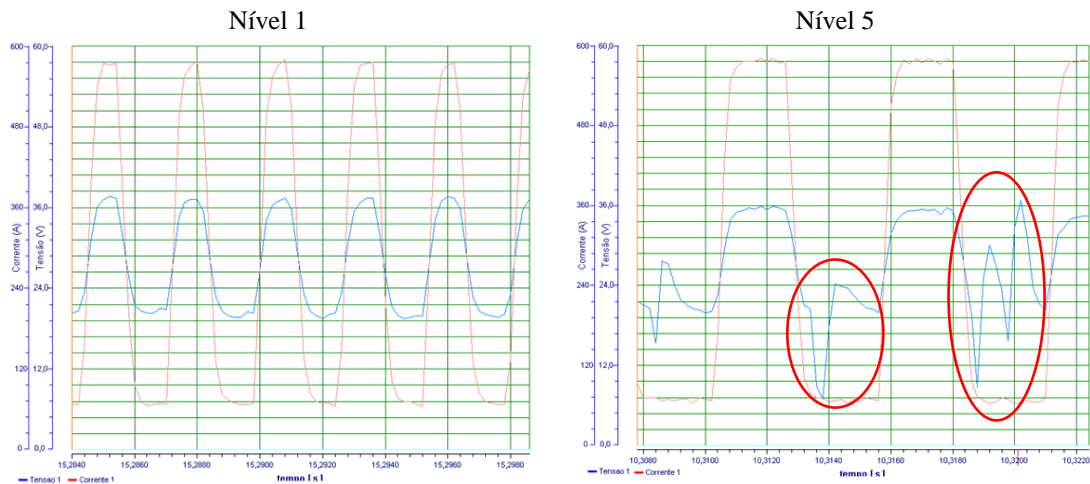


Figura 4. Comportamento da tensão e corrente a partir da variação do diâmetro de gota

Quanto a influência da gota sobre a estabilidade da poça de fusão, foi verificado que diâmetros maiores proporcionam uma maior turbulência na região onde se encontra o material líquido logo após a depressão característica do processo com alta penetração. Acredita-se que esse fenômeno está relacionado ao volume de material que é projetado à poça de fusão, resultando em uma maior instabilidade na periferia da mesma. A Figura 5 mostra a sequência de quadros retirados da filmagem de alta velocidade referentes aos parâmetros com menor e maior diâmetro de gota (níveis 1 e 5).

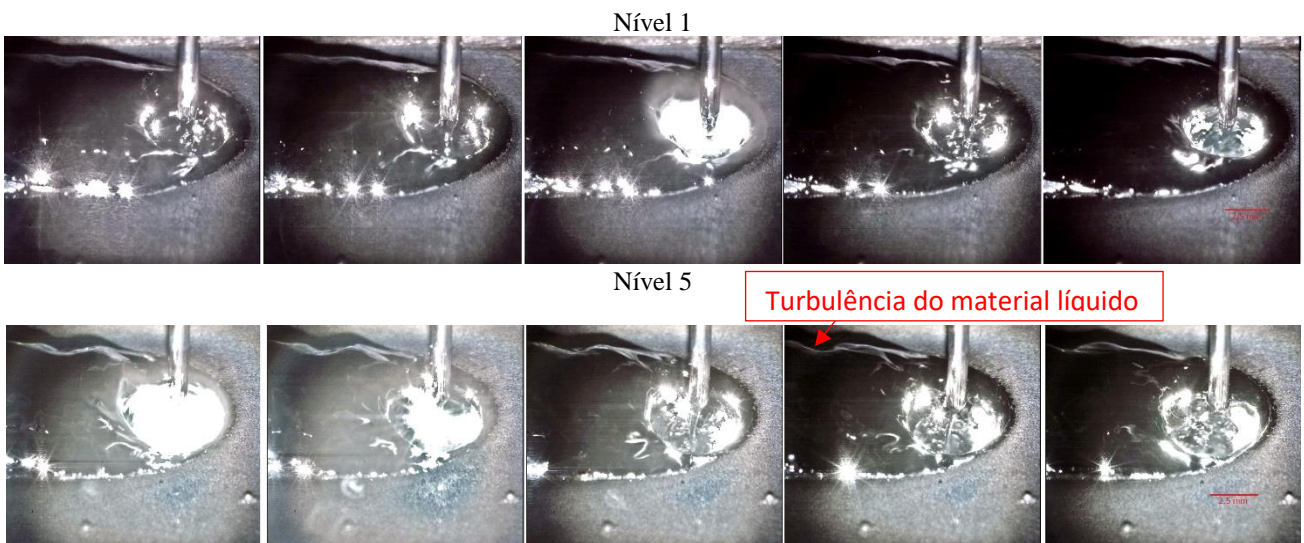


Figura 5. Sequência de quadros referentes aos parâmetros com menor e maior diâmetro de gota

Superficialmente, não ficou caracterizada diferença significativa quanto a morfologia do cordão de solda. Apesar de se observar em alguns casos a instabilidade nos sinais de tensão e de corrente, as soldas não apresentaram quantidades significativas de respingos independentemente do nível de parâmetros utilizados nos testes. A Figura 6 apresenta as chapas testes soldadas, bem como suas respectivas secções transversais.

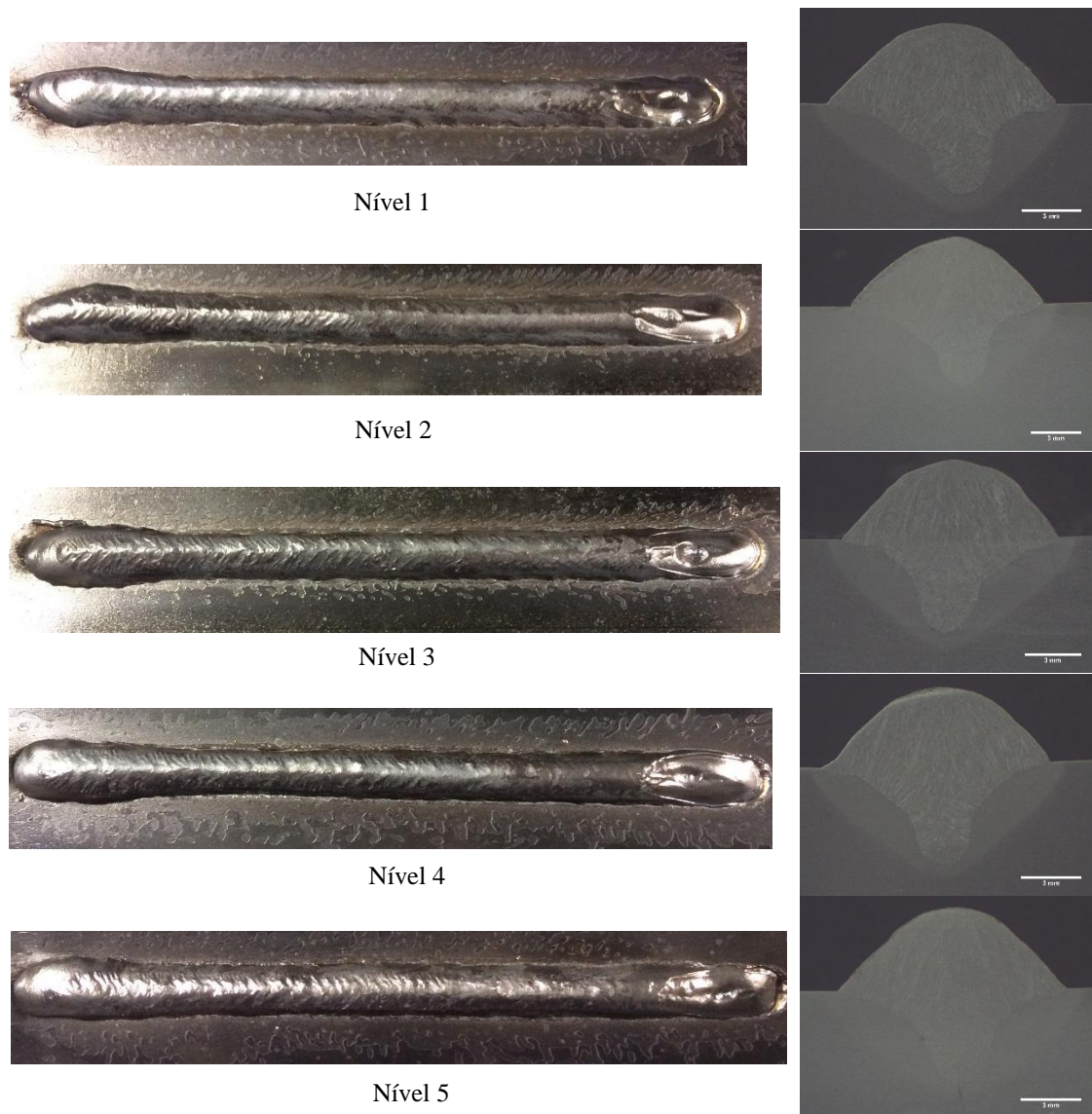


Figura 6. Chapas testes soldadas e suas respectivas secções transversais

Ainda sobre a caracterização dos cordões de solda, a partir secções transversais foi possível verificar os valores da penetração para cada nível de parâmetros. A partir dos valores é possível verificar que aqueles referentes ao diâmetro de gota mais próximo ao do arame-eletrodo foi o que teve maior penetração, conforme pode ser melhor elucidado pela Tabela 3.

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
4,63	4,81	5,07	4,89	4,57

#### 4. Conclusão

A partir dos resultados obtidos, é possível aferir que os diâmetros de gota testados nesse trabalho não influenciaram de forma significativa sobre a penetração. No entanto, é possível afirmar que:

- A medida que se aumenta o diâmetro de gota é possível verificar interferências relacionadas aos valores de tensão e corrente;
- Diâmetros de gota maiores proporcionam uma turbulência mais acentuada na região da poça de fusão, bem como sua periferia;
- Na presença de diâmetros de gotas maiores o processo é menos robusto devido a instabilidade nos parâmetros elétricos e a poça turbulenta;
- O diâmetro de gota mais próximo ao do arame-eletrodo foi o que favoreceu a uma maior penetração;

- Apesar da turbulência gerada, não foram visualizadas descontinuidades no cordão de solda, isso pode-se atribuir pela situação simples na qual o processo foi apresentado. Em casos de soldagem fora de posição ou em juntas complexas o efeito das interferências poderia ser acentuado.

## 5. Referências

- [1] Stol, I.; Williams, K. L.; Gaydos, D. W. – Back to Basics: Using a Buried Gas Metal Arc for Seam Welds. 2006. *Welding Journal*.
- [2] ROKHLIN, S.I., AND GUN, A. C. 1990. Computerized radiographic sensing and control of an arc welding process. *Welding Journal* 69(3):83-s to 97-s.
- [3] ROKHLIN, S. I.; GUU, A. C. A Study of Arc Force, Pool Depression, and Weld Penetration During Gas Tungsten Arc Welding. *Welding Research Supplement*. 1993.
- [4] BERNARDI, R. A.; RIFFEL, K. C.; SILVA, R. H. G. Otimização de Processo MIG de Alta Penetração Utilizando Controle da Indutância. CONSOLDA. Santa Catarina. 2017
- [5] SANTOS, T.F. Influência dos parâmetros de pulsação e do sentido de soldagem sobre o acabamento superficial do cordão na soldagem MIG do alumínio. COBEF. Paraná. 2001